

**INFLUENCIA DE LA NANOTECNOLOGIA EN LOS MATERIALES DE  
CONSTRUCCION PARA OBRAS CIVILES**

**JOHN ALEXANDER BERMUDEZ MEDINA CÓDIGO: 505011**

**OSCAR ANDREY VILLAMIL ROJAS CÓDIGO: 507502**



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL  
MODALIDA DE TRABAJO DE INVESTIGACION  
BOGOTÁ  
2021**

**INFLUENCIA DE LA NANOTECNOLOGIA EN LOS MATERIALES DE  
CONSTRUCCION PARA OBRAS CIVILES**

**JOHN ALEXANDER BERMUDEZ MEDINA CÓDIGO: 505011**

**OSCAR ANDREY VILLAMIL ROJAS CÓDIGO: 507502**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS CIVILES**



**DIRECTOR  
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ  
2021**



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

---

### Bajo los siguientes términos:

**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Ing.  
Asesor del proyecto

---

Firma de jurado

---

Firma de jurado

Bogotá, 29, junio, 2021

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	9
3. OBJETIVOS. ....	13
4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	14
5. MARCO DE REFERENCIA.....	16
5.1 MARCO TEÓRICO .....	16
5.1.1 QUÉ ES LA NANOTECNOLOGÍA .....	16
5.1.2 QUÉ SON LOS NANOMATERIALES .....	19
5.1.3 NANOMATERIALES UTILIZADOS PARA LAS OBRAS DE INGENIERÍA.....	21
6. NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGIA .....	23
7. APLICACIONES ACTUALES DE LA NANOTECNOLOGIA .....	24
7.1 ELECTRONICA .....	24
7.2 ENERGIA .....	24
7.3 BIOMEDICINA .....	24
7.4 MEDIO AMBIENTE .....	25
7.5 ALIMENTACION .....	25
7.6 TEXTIL .....	25
8. NANOTECNOLOGIA EN LOS PROXIMOS AÑOS.....	26
9. VENTAJAS DE NANOMATERIALES CON RESPECTO A MATERIALES CONVENCIONALES .....	27
10. MARCO CONCEPTUAL .....	29
11. ESTADO DEL ARTE .....	30
12. METODOLOGÍA.....	32
13. UTILIZACION DE LA NANOTECNOLOGIA EN INFRAESTRUCTURAS DE OBRAS CIVILES .....	33
14. PRINCIPALES NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION.....	34
15. OBRAS EN LAS QUE SE HAN IMPLEMENTADO NANOMATERIALES.....	35
15.1 CHIESA DIVES IN MISERICORDIA (ROMA).....	35
15.2 CENTRO DE NANOTECNOLOGIA KRISHNA P. SINGH.....	38
15.3 TALLER CATERPILAR .....	39
15.4 CENTRO DE CULTURA TOMA DE ZACATECAS.....	40
16. IMPACTO EN EL MERCADO DE LOS NANOMATERIALES ACTUALMENTE.....	41

16.1 AGREGADOS NANO PARA MATERIALES DE CEMENTO QUE ACTUALMENTE EXISTEN EN EL MERCADO .....	42
17. INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CONVENCIONALES DE OBRAS CIVILES CONVERTIDOS A NANOMATERIALES .....	46
17.1 CONCRETO (ECC) ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITE. ....	46
17.2 ASFALTO .....	47
17.3 CEMENTO .....	48
17.4 ACERO.....	49
17.5 VIDRIO .....	49
18. ANALISIS DE RESULTADOS .....	50
19. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	52
20. RECOMENDACIONES .....	53
21. CONCLUSIONES .....	54
22. BIBLIOGRAFÍA.....	56

## **LISTA DE TABLAS.**

	<b>PAG</b>
<b>Tabla 1.</b> Nanomateriales	27
<b>Tabla 2.</b> Aplicaciones de la nanotecnología en materiales de construcción	42

## **LISTA DE ILUSTRACIONES**

	<b>PAG</b>
<b>Figura 1.</b> Iglesia Dives in Misericordia	35
<b>Figura 2.</b> Iglesia Dives in Misericordia	36
<b>Figura 3.</b> Centro de Nanotecnología Krishna P. Singh	38
<b>Figura 4.</b> Soluciones Para Pisos Industriales	39
<b>Figura 5.</b> Centro de Cultura Toma de Zacatecas.	40
<b>Figura 6.</b> Centro de Cultura Toma de Zacatecas.	41

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Cuando se aborda el tema de nanotecnología, se habla que es la tecnología que se enfoca en el estudio, manipulación, elaboración y creación de materiales a una escala mínima (nano), con el fin de manipular de forma precisa los átomos y partículas para la fabricación o reforzamiento de algún producto o material en este caso materiales de construcción. Los nanomateriales se pueden dividir en nanopartículas, nano capas y nano compuestos dependiendo el uso que se le quiera hacer, dando a conocer nuevas alternativas al momento de ejecutar un proyecto de obra civil, modificando en ellos sus propiedades y generando materiales con propiedades avanzadas con mayor resistencia a la corrosión, regeneración, durabilidad, resistencia mecánica, etc. Siendo así hoy en día en el sector de la construcción, una de las mejores alternativas al momento de querer generar innovación y con ello adquiriendo demanda y rentabilidad.



## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

Esta investigación inicia con la intención de mejorar la calidad de vida, debido a que en el paso de los años se han investigado diferentes materiales y sus propiedades, queriendo tener un mayor desempeño para un fin común sin que sus efectos en la salud fueran graves.

Las primeras investigaciones de la nanotecnología se atribuyen a Richard Feynman(físico) en la conferencia de la sociedad física americana la cual se llevó a cabo en el instituto de tecnología de california a mediados del siglo XX. Desde ese momento se empezaría a hablar de los nanomateriales, porque este físico logró descubrir la forma de controlar y manipular átomos con partículas. Posteriormente en 1981 con los avances de la ciencia, empezó a tener influencia el término de la nanotecnología gracias a la creación del efecto túnel elaborado por G. Binnig y H. Rohrer (IBM Zúrich), que fueron las primeras personas en ver átomos individuales.

En 1985 continuaron con las investigaciones y descubren los “buckminsterfullerenos” en honor a Richard Buckminster Fuller, por su similitud a las cúpulas geodésicas de aproximadamente un nano diámetro, diseñando estructuras para un mayor avance de esta tecnología. En el siguiente año Dr. Kim Eric Drexler publicó el primer trabajo de investigación acerca de la nanotecnología y finalizando el año 1986 crean el primer dispositivo AFM (Microscopio de Fuerza Atómica). (Nano tecnólogo, 2019).

En 1993 le otorgan a Feynman el primer premio por la nanotecnología, este premio intentaba motivar la investigación de esta tecnología con un apoyo monetario. Ya que entre los años 2002 y 2006 aumentó considerablemente la inversión para un mejor desarrollo de aplicaciones para la nanotecnología y los nanomateriales, principalmente en estados unidos apoyados por las políticas del gobierno de Clinton.

En Colombia no es tan extensa la historia de la nanotecnología, ya que las investigaciones que se han realizado han sido más que todo a nivel personal, los cuales se encuentran interesados en busca de innovación y diferentes perspectivas en investigaciones de universidades como en este trabajo de investigación. Los inicios de investigación en el gobierno colombiano empiezan en 2004 cuando Colciencias toma como tema a investigar “Nanotecnología y Materiales Avanzados”, a manera de estrategia para la innovación, competitividad y productividad del país, creando así en el año 2005 el consejo Nacional de la Nanociencia y nanotecnología, apoyado por Universidades como la Javeriana, San Buenaventura, El Bosque, Distrital y Santo Tomás. (copyright, 2011.)

En Colombia no se ha realizado una investigación con respecto a la integración de esta tecnología en la educación secundaria de los colegios, pero en algunas universidades ha aparecido como asignatura en el pensum de carreras tecnológicas. En la actualidad Colombia tiene laboratorios tecnológicos los cuales cuentan con maquinaria e instrumental los cuales sirven para seguir las investigaciones e innovaciones de la nanotecnología. (copyright, 2011.)

En la actualidad las empresas constructoras han invertido en varios nanomateriales como lo son el concreto modificado con nanopartículas de dióxido de titanio, ya que este ayuda a reducir considerablemente los efectos contaminantes presentes en el ambiente.

- También existe la purificación de agua que se usa con diversos materiales (cerámicos, polímeros, y metales), empleando nanotubos de carbono.
- El dióxido de titanio se utiliza en obra en el hormigón para una capa externa, y crear superficies autolimpiables, la desventaja es que puede producir efectos inflamatorios y genotóxicos.
- El óxido de zinc se está utilizando para la resistencia, actividad foto catalítica, actividad biocida para la protección de la madera frente a los rayos del sol, genera daños respiratorios y degeneración en las moléculas sanguíneas.
- El dióxido de silicio se usa en el hormigón y cemento, alterando su base molecular haciéndolo más resistente, protegiéndolo del oxido y aumentando su vida útil, este nanomaterial genera un nivel toxico bajo haciendo que este no afecte la salud.

Actualmente se están utilizando muchos nanomateriales para obras civiles como lo son los nanotubos de carbono, el cual lo utilizan para adherir al cemento portland, debido a que estos nanotubos provienen de variedades alotrópicas del carbono. Estas estructuras se asemejan a un medio cuántico y modifican sus propiedades mecánicas, eléctricas, físicas y químicas, dependiendo de su diámetro, estas propiedades los hacen exitosos en el campo de la nanotecnología. (CARDONA, LAURA MARÍA ECHEVERRY, 2020).

Abordamos el tema de la influencia de la nanotecnología en los materiales de construcción para obras civiles, porque queremos dar a conocer a toda la comunidad educativa algunas de las innovaciones tecnológicas en ingeniería civil junto con sus ventajas, para así lograr identificar sus diferencias y mejorar considerablemente su desempeño en diseños de diferentes obras de infraestructura, en la necesidad de que como ingenieros queremos seguir avanzando en nuevos métodos de construcción, los cuales nos ayudaran a tener una vida más cómoda en el sentido de la infraestructura.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **General.**

Identificar las aplicaciones de la nanotecnología en materiales de construcción, con el fin de observar las ventajas que estos pueden ofrecer en las obras civiles.

#### **Específicos.**

- Adquirir conocimientos teóricos en el estudio y la investigación de los materiales nano estructurados, para su uso en las obras civiles.
- Conocer las aplicaciones nanotecnológicas en la industria de la construcción actualmente.
- Analizar las ventajas de los nanomateriales con respecto a los materiales comunes que se usan en las obras civiles.

#### **4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

En la actualidad la nanotecnología es una herramienta muy innovadora para el mejoramiento de todo tipo de objetos que diariamente salen al mercado, una forma de observar esta herramienta es fijándose en los materiales que están adoptando esta tecnología conocidos como los nanomateriales, los cuales, aunque algunos están en su fase de prueba, han demostrado su buena adaptación y funcionamiento en el área de construcciones de obras civiles. los nanomateriales son una buena forma de avanzar en la tecnología al momento de construir ya que provee una vida útil más larga, y unas mejores propiedades como resistencia, anticorrosión, entre otras, adaptándolos a los materiales que se usan en la obra.

Por esta razón el avance de la nanotecnología es inevitable en la industria ya que es necesario mejorar métodos de fabricación permitiendo la construcción de estructuras, para ello la fabricación debe ser continua y se deben ejercer parámetros de control sobre el tamaño y las propiedades que estos ofrezcan, dado que uno de los fines de la ciencia es generar productos útiles que con sus características den solución a diferentes problemas de la vida cotidiana, que estos se puedan fabricar y aplicar a gran escala, por ello es importante investigar nuevos materiales, sus propiedades y que esto se implemente en la construcción de obras civiles.

Los mayores problemas que tiene el sector de la construcción son los costos y tiempo de ejecución de proyectos, en el cual los materiales son de vital importancia, ya que en algunos casos se incumple con el tiempo de realización de la infraestructura por diferentes motivos, como por ejemplo actualmente vivimos una situación de contingencia a nivel global ocasionado por (SARS-COVID 19) y los materiales en cierto lapso de tiempo empiezan a perder propiedades físicas y

químicas al no ser utilizados, haciendo perder dinero y tiempo a los ejecutantes de estas obras.

Con base en esta problemática nos surge una pregunta.

**¿Qué ventajas nos ofrecen los nanomateriales con respecto a los materiales más usados en obras civiles?**

## **5. MARCO DE REFERENCIA.**

### **5.1.1 MARCO TEÓRICO.**

### **5.1.2 QUÉ ES LA NANOTECNOLOGÍA.**

Cuando se habla de nanotecnología, esto se refiere a estudiar y desarrollar elemento muy reducidos como lo es la escala nano, este prefijo del Sistema internacional de Unidades proviene de la palabra griega Vávoc, la cual significa enano, y tiene como factor numérico ( $10^{-9}$  metros) o 1 nanómetro.

Utilizando este factor se logran ver propiedades y portentos nuevos, los cuales tiene como regla las leyes de la Mecánica Cuántica, con la actualización de estas propiedades en las investigaciones realizadas, se logran diseñar materiales innovadores (nanomateriales) o aparatos a escala nano. Esta tecnología garantiza obtener resultados positivos a diferentes problemas a los cuales nos enfrentamos actualmente, como lo son deficiencias energéticas, ambientales, de salud en la nanomedicina, y muchas más, pero con la elaboración de estas tecnologías se pueden desarrollar acciones negativas debido a su mal utilización. (Nanotecnología, 2019).

Con el desarrollo de la nanotecnología se da un gran paso en el sentido de innovación en la ciencia e ingenierías las cuales cambiara muchas partes de esta, como, por ejemplo, la energía, tecnologías informáticas, medicina, defensa nacional y el traslado de un lado a otro. Esta nanotecnología nos llevara al siguiente escalón de materiales los cuales tendrán mejores propiedades de resistencia, peso y vida útil con respecto a los materiales utilizados actualmente en edificaciones, infraestructuras de comunicación como los puentes, aeronaves y otras implementaciones.



La nanotecnología genera una gran confianza para elaborar elementos eficientes globalmente con respecto a la energía, como celdas de combustibles, baterías y paneles solares mucho más efectivos. Con la nanotecnología se obtendrán distintas propuestas para tener terrenos más limpios y aguas con materia orgánica, y tendrá un papel importante en la transformación de la medicina y el cuidado de la salud.

- En el tema de la salud se requiere hacer una evolución utilizando la nanotecnología. Gracias a la nanotecnología se están elaborando herramientas muy innovadoras para tratar y detectar el cáncer, vendajes que eviten infecciones, y perfeccionar en las tecnologías para la elaboración de imágenes y varias cosas más, las cuales nos servirán en día a día.
- La mayoría de los dispositivos eléctricos los cuales se fabricaron últimamente, desde dispositivos básicos hasta los más sofisticados, se realizaron por medio de la nanotecnología.
- Los equipos deportivos, como bates de béisbol, raqueta de tenis, casco de motos y varios materiales plásticos se lograrán mejorar tales como ser menos pesados, más resistentes, alta durabilidad utilizando la nanotecnología.
- El tema textil al ser manipuladas con la nanotecnología puede contrarrestar arrugas, la mayoría de las manchas y la abundancia de bacterias, logrando así que la ropa al ser utilizada se encuentre más limpia y con una duración más alta.

- El material usado para los lentes, las ventanas, las pantallas de los computadores, y otras superficies hacen uso de la nanotecnología ya que incrementa la capacidad hidrófuga, la cual crea un antirreflejo, tiene más resistencia a la luz ultravioleta e infrarroja, da una protección contra los rayones o conductores eléctricos.
- Los productos que se utilizan en viviendas como quitamanchas, pintura, sellador, desengrasantes, se lograran mejorar con la nanotecnología, debido a que está nos permite desarrollar un ambiente más higiénico por medio de la purificación de agua y eliminación de la contaminación del agua en todas las superficies terrestres.
- La innovación de energía, por ejemplo, los paneles solares más efectivos, los componentes eólicos de los aviones los hace más fuertes y livianos, tendrán rendimientos de combustible más grandes relacionados por la nanotecnología.
- Productos de aseo personal, los cosméticos y cremas contra el cuidado del sol, incrementaran su efectividad gracias a la nanotecnología.
- Las botellas de bebidas usan la nanotecnología la cual permite detectar y minimizar el daño al medio ambiente como lo es la contaminación, ayudara a que los alimentos estén en óptimas condiciones para su consumo por más tiempo.
- Algunos medicamentos, les hicieron mejoras con nanopartículas para que lograran una mayor efectividad al momento de ser utilizados. (Chemical Safety Facts,2020).

### 5.1.3 QUÉ SON LOS NANOMATERIALES.

Los nanomateriales son componentes conformados por partículas con diferentes dimensiones con respecto a la nano escala, lo que significa que 100 nanómetros o un nanómetro. Esta escala nano, en el tema de distancia se llama nanómetro (nm) la cual es igual a una millonésima parte de un metro ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ).

Los nanomateriales se podrían generar de manera natural, es decir, las emisiones que salen de los volcanes, o como un producto elaborado por un proceso industrial, como el humo de las soldaduras o productos de combustión, nombrándose en este caso como nanomateriales accidentales, generalmente se conocen como partículas supremamente finas. La escala nanométrica también añade a los nanomateriales manufacturados que son casualmente elaborados con unas propiedades en especial (catalíticas, ópticas, mecánicas, eléctricas y muchas más), las cuales son distintas en diferentes casos, como las que presentan un mismo material a un tamaño mayor al nanométrico.

Los materiales manufacturados a escala nano se presentan como un nano-objeto, son elementos que se caracterizan por tener de una a tres dimensiones fuera de la nano escala, o de un material más grande que los nanomateriales. Estos materiales nanoestructurados se resaltan por tener tanto la estructura interna como externa en escala nano. Primeramente, un nano objeto se nombra nano placa, nano fibra o nano partículas determinando la cantidad de dimensiones externas que contengan ya sea una o tres respectivamente la nano escala. Usualmente, en el proceso de elaboración de los nano objetos, las primeras partículas, que son las que nacen al principio de este proceso, suelen combinarse entre ellas para crear un agregado o aglomerado en los que su estructura externa suele alcanzar tamaños más grandes que 100 nano metros. Para un aglomerado sus partículas son unidas, pero no son tan fuertes y su estructura externa resulta

de una suma del área superficial de sus componentes independientes. Mientras que en los agregados estas partículas son unidas compactamente o unidas, y su estructura interna suele ser muchísimo más pequeña que el resultado de la unión del área superficial que suelen ser calculadas por los elementos individuales.

Para los materiales estructurados a escala nanométrica, se suelen distinguir por tener una superficie interna o superficie externa en escala nano. Los materiales nanoestructurados suelen tener una única distribución sumamente pequeña en la que una parte grande de este material está elaborada a nano escala (usualmente, nano objetos adjuntados en una matriz consistente). Por otra parte, también se añaden a este grupo las estructuras que han sido modificadas premeditadamente, para obtener una heterogeneidad morfológica o química en nano escala. Un material nanoestructurado se podría presentar en forma de polvo estructurado a nano escala, nanocompuestos, espuma solidad a escala nanométrica, material nano poroso y dispersión fluida a nano escala. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015).

#### 5.1.4 NANOMATERIALES UTILIZADOS PARA LAS OBRAS DE INGENIERÍA.

Existen diferentes nanomateriales utilizados en obras civiles, los cuales nos harán tener unas mayores propiedades respecto a su uso, como lo son:

- **THORO STUCCO THERMO:** Es un material el cual al utilizarlo en la parte interna de las viviendas logra aumentar la comodidad o bajar la temperatura en el interior máximos en 7°C.
- **GRAFENO:** Este material tiene una superficie bidimensional que se realiza en placas a escala nano. Las placas a nano escala son laminas estructuradas por una única red hexagonal conformada por átomos de carbono en un único plano, por ejemplo, el caso del grafito tiene un espesor a escala nanométrica. Tiene una dureza significativamente alta (parecida a la de un diamante), flexibilidad, densidad y elasticidad, junto con una alta conductividad eléctrica y térmica. Este material es muy liviano además que tiene una buena resistencia sobresaliente a la radiación iónica.
- **NANOTUBOS DE CARBONO:** Tiene una estructura cilíndrica y se conforman por una o varias laminas tubulares semejante a las del grafeno, nombradas nano tubos de carbono de pared simple (SWCNT) o de varias paredes (MWCNT), respectivamente. Su diámetro suele ser casi de 1 nanómetro para los de una única pared y hasta más de 100 nanómetros para lo que tienen varias paredes, por otra parte, su longitud suele ser más grande que cientos de micrómetros. Los nanotubos son elementos térmica y químicamente demasiado estables, los cuales tienen una elevada conductividad térmica y eléctrica, elasticidad, buena relación con respecto a la resistencia vs peso, pero muy poca densidad. De esta forma, tiene una excelente resistencia al estiramiento y a las deformaciones. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015).

- **NANOPOLIMEROS:** Estos elementos maleables suelen tener una dimensión o varias en la escala nanométrica. Este material es conductor además que tiene una superficie específica alta, también tiene una propiedad catalítica constituida por grupos periféricos. Las características de uno de estos tipos de nano polímeros suelen diferenciarse en función de las distintas condiciones ambientales. (Fundación laboral de la Construcción, 2017).
- **PUNTOS CUÁNTICOS:** Son cristales a nano escala de elementos poco conductores con tamaños entre 2 a 10 nanómetros. Los cristales nano tienen algunas características ópticas, magnéticas, electrónicas debido a que es un material semiconductor.
- **NANOARCILLAS:** Estos materiales son cerámicos de silicatos minerales en forma de capas. Existen de manera natural o son sintéticos para que así tengan una o varias propiedades especiales. Tienen un buen efecto divisor frente a la humedad y oxígeno, además una excelente resistencia mecánica.
- **FCNP** (Fracción de nanopartículas en compuestos convencionales): Este material es una pequeña parte de nano partículas unidas en una sustancia o elemento simple. Si el elemento simple tiene <50% de nano partículas, es decir, de 1 a 100 número de partículas, no es un nanomaterial, pero puede funcionar en el desarrollo de baja energía de nano partículas. Como por ejemplo el talco, variedad de aditivos los cuales se usan en la elaboración de pinturas y carbonato de calcio. (Fundación laboral de la Construcción, 2017).<sup>4</sup>

## **6. NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGIA.**

Gran parte de los materiales que tenemos cotidianamente, o que creemos muy similares, tienen como propósito solucionar diferentes problemas de la vida cotidiana. En la parte científica cuando se investigan elementos a escala nano (1 millonésima parte de un metro) se ha desarrollado varias teorías desde el comienzo del siglo XX, tiene diferentes soluciones experimentales, ya que no se sabía del significado de la nanociencia y nanotecnología como se conoce de hoy en día; incluso con esta información hace pocos años reconoce la nanotecnología como algo innovador. El inconveniente no suele ser la escala sino la tecnología; gracias a esto la nanotecnología ha desarrollado varios procesos de investigación, y como resultado se puede contar con varias estructuras de esta magnitud tan pequeña, lo que hace unos años nos era imposible de investigar.

## **7. APLICACIONES ACTUALES DE LA NANOTECNOLOGIA.**

### **7.1 Electrónica**

El silicio se utiliza como elemento para elaborar microchips y materiales más diminutos, rápidos y precisos, pero con el paso del tiempo los nanotubos de carbono están al borde de reemplazarlos, también los nano cables cuánticos son menos pesados, buenos conductores y fuertes. Por otra parte, las características del grafeno lo resaltan como un aspirante perfecto para la elaboración de pantalla flexible y táctil.

### **7.2 Energía**

La universidad de Kyoto desarrollo un material semiconductor innovador que tiene como función elaborar paneles solares que multiplican la cuantía de luz solar y es transformada en corriente eléctrica. La nanotecnología también disminuye costos, construyendo turbinas eólicas más resistentes y menos pesadas, aumenta la productividad del combustible, con ayuda del aislamiento térmico de algunos componentes a escala nano, se lograría economizar energía.

### **7.3 Biomedicina**

Para algunos nanomateriales sus características los hacen perfectos para mejorar su resultado optimo y el tratamiento de alguna enfermedad que degeneran rápidamente el cerebro en otros casos del cáncer. Tienen la capacidad de combatir las células cancerígenas de manera selectiva sin eliminar o alterar el resto de las células que se encuentran en óptimas condiciones. Unas nanopartículas algunas veces se han utilizado para perfeccionar diferentes medicamentos como lo son los bloqueadores solares.



#### **7.4 Medio ambiente**

Cuando los iones limpian el aire, la limpieza de aguas contaminadas con nano burbujas o los sistemas de filtración a nano escala para los metales más densos son varios de sus usos aplicados positivamente para la conservación del medio ambiente. Por otra parte, existe un nano catalizador el cual sirve para que las reacciones químicas sean más efectivas y no tengan una contaminación alta.

#### **7.5 Alimentación**

En este caso se utilizan nano biosensores los cuales logran evidenciar la disposición de patógenos en las comidas o un nanocompuesto que sirve para tener una mejor producción alimenticia al incrementar su resistencia térmica y mecánica, además de mitigar el paso del oxígeno en varios alimentos envasados.

#### **7.6 Textil**

Con el desarrollo de la nanotecnología nos ha permitido desarrollar estructuras inteligentes que no se arruguen ni de manchen, tal cual, como componentes más resistentes, menos pesados y con alta vida útil con el fin de elaborar elementos deportivos como por ejemplo un casco de motocicleta.

## **8. NANOTECNOLOGÍA EN LOS PROXIMOS AÑOS.**

Se espera globalmente un incremento del sector apoyado por diferentes desarrollos tecnológicos, los apoyos gubernamentales, además del incremento de la inversión económica privada y la alta demanda de componentes o dispositivos mucho más diminutos que los conocidos cotidianamente. Además, los peligros que suele tener el medio ambiente, riesgo sanitario y de seguridad de la implementación de la nanotecnología, pararan levemente el avance de estas tecnologías.

En países europeos como Alemania y americanos como Brasil y Estados Unidos son los que en el momento están en el desarrollo de la nanotecnología las cual la quieren implementar en el año 2024, ya que se quiere también que el sector cosmético se posicione positivamente en la innovación de avances energéticos y electrónicos.

.

## 9. VENTAJAS DE NANOMATERIALES CON RESPECTO A MATERIALES CONVENCIONALES.

En la siguiente tabla se precisa de forma detallada los nano materiales que más se utilizan en las obras de Construcción, mostrando qué nano material es, cuál es su aplicación en obra y las características que este ofrece frente al material convencional.

Tabla 1. Nanomateriales.

APLICACIONES EN OBRA	PRODUCTO	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
<b>ESTRUCTURAS</b> (Hormigón, cemento, acero, etc.)	<b>HORMIGÓN Y CEMENTO</b>	Nanotubos de carbono	Durabilidad, resistencia al agrietamiento
		SiO <sub>2</sub>	Refuerzo de resistencia mecánica, reducción de la corrosión y reducción de la permeabilidad al agua.
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Incremento de la fuerza de compresión, resistencia a la abrasión
		TiO <sub>2</sub>	Durabilidad, autolimpieza, actividad foto catalítica en exteriores (en investigación para interiores y bajo luz artificial), rápida hidratación, incremento del grado de hidratación
		Grafeno	Aumento de impermeabilidad, flexión y plasticidad
	<b>ACERO</b>	Cu	Soldabilidad, resistencia a la corrosión.
		V Mo	Resistencia a la fractura en juntas y tornillos
		Mg Ca	Aumenta la dureza en soldaduras, resistencia al desgaste del acero inoxidable
<b>ACABADOS Y REVESTIMIENTO</b> (Pinturas, resinas, elementos cerámicos, etc.)	<b>MATERIALES CERÁMICOS</b>	Nanotubos de carbono	Mejora las propiedades mecánicas y térmicas.
		SiO <sub>2</sub>	Refrigerante, antirreflejo, resistencia al fuego.
	<b>PINTURAS</b>	Ag	Actividad biocida.
		ZnO TiO <sub>2</sub>	Resistencia, actividad foto catalítica, actividad biocida, autolimpieza, mantiene la transparencia, hidrofóbico
		SiO <sub>2</sub>	Mejora la adhesión, durabilidad.
		Polímeros de fluoro carbono	Repelente agua/grasa
		Nanotubos de carbono y nanoarcillas	Mejora la resistencia al fuego
		Grafeno	Durabilidad, resistencia, actividad foto catalítica, actividad biocida

Continuación Tabla 1.

	RECUBRIMIENTOS DE METALES	Nanotubos de carbono. Fibras de polipropileno	Mejora la resistencia al fuego
		Nano cerámicos y fosfato de Fe, Zn y Mn	Protección contra la corrosión
	RECUBRIMIENTOS DE MADERA (interior y exterior)	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Resistencia al rayado. Mejora la elasticidad.
		ZnO CeO <sub>2</sub>	Protección de la madera frente a la radiación UV.
		Polímeros de fluoro carbono	Repelente agua, superficies fáciles de limpiar.
		Hidrotalcita en forma de nanoarcilla	Previene la decoloración de madera bloqueando la liberación de tanino
	RECUBRIMIENTOS DE PRODUCTOS CERÁMICOS	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub>	Resistencia al rayado, durabilidad, fácil limpieza, repelente agua/aceite, reducción de los NOx producidos por el tráfico.
AISLAMIENTOS/ CERRAMIENTOS (Ventanas, ladrillos, puertas, etc.)	VENTANAS	SiO <sub>2</sub>	Resistencia al fuego o al calor, antirreflejo.
		TiO <sub>2</sub>	Anti-empañamiento, resistencia a la suciedad
		WO <sub>3</sub>	Puede cambiar las propiedades ópticas mediante aplicación de un voltaje externo (electrocromismo), refleja la radiación infrarroja.
		Ag, SiO <sub>2</sub> polímeros de, fluoro carbono	Autolimpieza.
		Otros	Bloqueo de la entrada de luz y del calor. Efecto termo cromático, fotocromático y electro cromático.
INSTALACIONES (Tubos, cableado, paneles solares, calefacción, aire acondicionado, telefonía, etc.)	CELDA SOLARES	Nanotubos de carbono	Transmisión efectiva de electrones.
		TiO <sub>2</sub>	Generación de energía
INFRAESTRUCTURAS (Carreteras, ferroviario, etc.)	ASFALTO, PAVIMENTOS DE CARRETERAS, PANTALLAS ACÚSTICAS Y TÚNELES	TiO <sub>2</sub>	Durabilidad, reducción del ruido, reducción de contaminantes del aire. Actividad foto catalítica en paredes de túneles.

Fuente: (Rosas Iván Darío, 2012).

## **10. MARCO CONCEPTUAL.**

Los nanomateriales, son productos que están compuestos por partículas con una o varias dimensiones en una escala nano, podemos decir que aproximadamente un nanómetro equivale a una millonésima parte de un metro. Los materiales nanoestructurados, se distinguen por poseer unas propiedades internas y superficiales mejores que los materiales comunes, pero convertidos a una nano escala. los nanomateriales ofrecen unas características más eficaces que los materiales comúnmente utilizados en las obras civiles, estos dan mejores resultados en cuanto a sus características internas, dando una mejora notable en estos, y un avance en cuanto al área de las construcciones civiles.

## **11. ESTADO DEL ARTE.**

En el análisis del estado del arte se realizará una investigación detallada de los nanomateriales más utilizados en las obras civiles, para así dar una perspectiva de la utilidad y ventajas que estos ofrecen en comparación a los materiales de construcción convencionales.

La investigación sobre la nanotecnología en las zonas como la ingeniería civil, arquitectura, hacen un enfoque en los nanomateriales más usados en el sector constructivo, uno de ellos es el concreto el cual se le ha utilizado para mejorar sus propiedades, ya que es un elemento muy utilizado a nivel mundial, también se ha observado su reacción frente a la mezcla entre arena y grava para producir hormigón. se analiza las propiedades de morteros y concretos ya que estos nos ofrecen ventajas como: resistencia a tracción, compresión, cizalla y flexión, se mejora el módulo de elasticidad, se observa una mejora en la resistencia eléctrica, la absorción de ruido y la adherencia de agregados en el cemento, se disminuye notablemente la porosidad, se progresa en la capacidad para soportar la variación de temperaturas, se generan materiales autolimpiables, materiales aprueba de fuego, se aumenta la plasticidad y fluidez al momento de la fundición, se logra disminuir el tiempo de fraguado, se observa la oposición a químicos, se aumenta la velocidad de curado del concreto y se reduce el ataque de la corrosión en las estructuras y materias metálicos.

La adición de nano sílice en el concreto genera una consecuencia la cual incrementa su velocidad de reacción superficial y condición puzolánico, como consecuencia aumenta la velocidad de hidratación, así como el calor de hidratación por el grado de finura de las partículas. Respecto a la nano sílice, se han adelantado investigaciones para la obtención de este aditivo a base de la

cascarilla de arroz por sistema gel y sol(sol-gel) y así mejorar las propiedades reológicas y mecánicas del concreto, además de darle uso al desecho del cultivo de arroz. El objetivo de este documento fue hacer una revisión del estado del arte del uso de la nano sílice en el concreto con foco en el contexto colombiano, de esa manera, se espera promover el uso de este material de modo seguro y confiable en la construcción. acerca de la influencia de la nano sílice en las ventajas que ofrece el concreto, en estado fresco o estado endurecido, se destacan las siguientes conclusiones, la trabajabilidad del concreto se ve disminuida debido a la adición de nano partículas de sílice, por lo cual es común la utilización en la mezcla de aditivos plastificantes, sin que se comprometan las propiedades mecánicas del concreto, el uso de nano sílice en la mezcla reduce el efecto de la corrosión debido a la disminución de la permeabilidad causada por el refinamiento de la microestructura, que es promovida por la reacción puzolánica.

Se revisa las ventajas de los nano materiales autolimpiables, de cómo estos mejoran a los materiales usados en la ingeniería civil, dando así un avance tecnológico en las construcciones del día a día.

Las propiedades que estos aportan en cada tipo de material como mejoras a la corrosión, humedad, deterioramiento, limpieza, entre otras y como estos se pueden monitorear por medio de nano sensores y como se pueden prevenir futuras fallas que puedan presentar los nanomateriales en obras civiles.

## 12. METODOLOGÍA.

La finalidad de este proyecto es conocer y evaluar la influencia en términos de tiempo y recursos de los nanomateriales en obras civiles que se usan o podrían utilizar en los campos de la arquitectura e ingeniería civil, haciendo énfasis en los principales nanomateriales que en la actualidad están en desarrollo y otros que ya se implementan en obras civiles, mejorando sus propiedades, basándose en una metodología cualitativa. Posteriormente se analizará las ventajas que presentan las nuevas tecnologías en nanomateriales en comparación a los materiales de construcción habituales, dando así un paso en el avance de nuevas tecnologías en la industria de la construcción de obras civiles.

La metodología se dividirá en 3 etapas:

**ETAPA 1:** Se investigará la utilidad que tiene la nanotecnología en los materiales de construcción y observar el impacto que estos han tenido en los últimos años, y así conocer si estos se han implementado en alguna obra civil y de qué forma los han utilizado.

**ETAPA 2:** Se analizará el cómo varios agregados nano, que se encuentran en el mercado global actualmente, para un material muy utilizado en obras civiles como lo es el cemento, han venido mejorando las características de este material. De esta manera observar que beneficios ofrecen al momento de aplicarlo.

**ETAPA 3:** Recomendar el uso de nanomateriales en las obras civiles y aconsejar en que materiales han tenido una mejora al analizar su utilidad y su desempeño en cuanto a las mejoras que las nuevas tecnologías ofrecen.



### **13. UTILIZACION DE LA NANOTECNOLOGIA EN INFRAESTRUCTURA DE OBRAS CIVILES.**

La utilización de la nanotecnología en el sector de la construcción admitirá la elaboración de materiales de construcción innovadores, con mejores propiedades mecánicas y físicas como por ejemplo su resistencia y ductilidad en comparación con el acero que actualmente se utiliza en la construcción de obras civiles, pero sin modificar las características positivas que tiene, en este caso que es resistente a altas temperaturas y con mayor resistencia al óxido, y varias características más.

Los nanomateriales usados en obras civiles, serán superiores a los usados actualmente, además tendrán la ventaja de medir su estado de fisuración, el estado de tensión y deformación la cual se produce al paso del tiempo y su utilización. Su uso aumentará notablemente el nivel de seguridad en las obras civiles, perfeccionando así mismo el confort y su estética, economizando energía notablemente, que servirá para tener un buen desarrollo con respecto a las diferentes actividades humanas.

#### **14. PRINCIPALES NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION.**

La influencia de los nano materiales en la construcción moderna, se amplía conforme se investigan sobre estos. Las características que este ofrece en la aplicación lo podríamos definir como un modelo que podría ser el cemento, agregándole más durabilidad; en la fabricación de estos materiales autolimpiables, en utilización de seguridad en casa, para aumentar las zonas autolimpiables para así generar una disminución considerable de bacterias, aditivos con tolerancia a altas temperaturas, entre otras, las características que ofrece frente a la energía, aumentando aislantes de temperatura o térmico. Algunas de sus propiedades investigadas se han lanzado al mercado como una opción de construcción. Actualmente, los elementos que más impacto han tenido en los nano materiales han sido tanto el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) como el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), en comparación con los nanotubos de carbono (CNT), los cuales todavía están en etapa de investigación, pero hoy en día se han empezado a implementar.

## 15. OBRAS EN LAS QUE SE HAN IMPLEMENTADO NANOMATERIALES.

### 15.1 Chiesa Dives in Misericordia (Roma)

**Fabricante:** Italcementi Group TX Active (Italia)

**Tipo de Producto:** Cemento

**TX Arca:** Es un material a base de cemento con características foto catalíticas generalmente producido por la utilización de dióxido de titanio. La consecuencia foto catalítico aporta notablemente a la reducción de contaminantes atmosféricos, generalmente combate el óxido de nitrógeno NOx, modifica y convierte a sales solubles de nitrato de calcio que son suprimidas al contacto con agua lluvia o de riego, también los COV se modifican en agua o también en dióxido de carbono.

**Beneficios:**

- Antibacteriano.
- Autolimpiable.

Figura 1. Iglesia Dives in Misericordia.



Fuente: (Richard Meier, 2003).

**TX Aria:** Es un cemento con características foto catalíticas generalmente producido por la utilización de dióxido de titanio. La consecuencia foto catalítica, eliminara los elementos orgánicos convirtiéndolos en agua (H<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), al contacto con elementos inorgánicos estos y son suprimidos por el agua lluvia o de riego, de esta manera se produce un resultado autolimpiable por lo que genera la apariencia estética diferente a construcciones realizadas con dicho material.

### **Beneficios:**

- Descontaminante

Figura 2. Iglesia Dives in Misericordia.



Fuente: (Richard Meier & Partners, 2003).

**Campo De Aplicación En La Construcción:**

- Pavimento en hormigón.
- Pavimento en adoquín prefabricado.
- Revestimiento en pavimento y vías.
- Pintura para señales de tránsito.
- Teja vertical en hormigón.
- Mortero en revestimiento.
- Pintura para cemento.
- Panel prefabricado.

## 15.2 Centro de Nanotecnología Krishna P. Singh.

Figura 3. Centro de Nanotecnología Krishna P. Singh.



Fuente: (archdaily, 2013).

El Centro de Nanotecnología Krishna P. Singh, es un centro universitario que abre la puerta a nuevas tecnologías nano. Se construyó en el año 2013, con el fin de incentivar y motivar a estudiantes con ideas revolucionarias en las tecnologías nano. Se encuentra ubicado en Filadelfia (EEUU) y hace parte de las nuevas instalaciones de la Universidad de Pensilvania.

Es el primer centro nanotecnológico en el mundo, en la construcción de este se emplearon materiales como el concreto, acero, acabados y diferentes aditivos nano, para así dar un plus en esta nueva tecnología incentivando a las nuevas investigaciones de esta, además de su bajo costo de fabricación.

Los vidrios nano aportan una mejora notable ya que son autolimpiables, al tener contacto con la lluvia, estos disipan la lluvia en pequeñas gotas para que el viento se las lleve y así este no genere manchas ni suciedad.

Se implementaron aditivos en los recubrimientos de los pisos, ya que este hace que no se manche y su limpieza sea más fácil y rápida, además que mantiene una superficie brillante y da un aspecto innovador.

### 15.3 Taller Caterpillar

Figura 4. Soluciones Para Pisos Industriales.



Fuente: (revistacyt, 2016).

Uno de los grandes problemas en un taller es su limpieza, para mejorar el aspecto de los pisos, se propuso un nano aditivo a base de poliuretano, al aplicar una capa de este nano aditivo se mejoró notablemente la resistencia a ataques químicos y también mejorando el aspecto de este.

## **BENEFICIOS:**

- Se redujeron los costos, limpieza y mantenimiento de estos.
- Se eliminan manchas de grasa y aceite sin la necesidad de usar productos químicos.
- Su limpieza se mejoró notablemente haciéndola más rápida y sencilla.
- Aumentó su resistencia al desgaste que ocasiona la maquinaria.

### **15.4 Centro de Cultura Toma de Zacatecas.**

Figura 5. Centro de Cultura Toma de Zacatecas.



Fuente: (ntrzacatecas, 2021).



Figura 6. Centro de Cultura Toma de Zacatecas.



Fuente: (ntrzacatecas, 2021).

El centro de cultura zacatecas se construyó con el fin de impulsar las nuevas culturas. Un gran desafío que enfrentó su construcción, era la de crear un pórtico de 360 grados. En la construcción de esta estructura se utilizaron nano aditivos para el acero y concreto.

En el acero se utilizó un nano componente para mejorar la rigidez del acero y para disminuir la corrosión de este, haciendo así más estable y duradera. En el concreto se utiliza un aditivo el cual impermeabilizaba el concreto, aumentaba su compactación, su fluidez y su cohesión, convirtiéndolo en un material notablemente mejor que el convencional, haciendo que esta construcción disminuyera su costo y su tiempo de construcción.

## 16. IMPACTO EN EL MERCADO DE LOS NANOMATERIALES ACTUALMENTE.

Estos son algunos nanomateriales que existen en el mercado de algunos países europeos, en la actualidad aún no se encuentran en Colombia.

### 16.1 AGREGADOS NANO PARA MATERIALES DE CEMENTO QUE ACTUALMENTE EXISTEN EN EL MERCADO.

Tabla 2. Utilización y ventajas de la nanotecnología en elementos de construcción.

Nombre	Fabricante	Tipo de producto	Mecanismo de acción	Beneficios ofrecidos	Aplicación en la construcción
FastKick	MC	Aditivo	Consiste en la adición del hormigón fresco de núcleos de cristalización los cuales están compuestos iguales a las fases hidratadas de cemento. Estos núcleos tienen una rápida formación de hidratos, los cuales aceleran de manera precisa el desarrollo de resistencias en pocas horas de 5 a 10. Sosteniendo o mejorando la resistencia a largo plazo y cohesión.	Aumenta las resistencias iniciales, crece la fluidez, mejoramiento en la resistencia a compresión a las 8 horas, aumento de permeabilidad	Elaboración de prefabricación, Hormigón premezclado de con aumento de resistencia, Hormigonado en el periodo de invierno.
Máster X-Speed	Basf	Aditivo	Este material es un aditivo líquido de partículas a escala nano las cuales están suspendidas con base de aluminio. Actúa como un activador de la hidratación del hormigón en el proceso de su creación. La adición de estas partículas, funcionan con núcleo de cristalización y desarrolla la producción del gel CSH en dicha hidratación. Hace la transformación mucho más rápida, aumentando así su resistencia inicial, la productividad del hormigón sin modificar negativamente sus particularidades de rendimiento.	Actúa rápido frente a la resistencia inicial sin modificar la resistencia restante, elaboración de hormigón monetariamente rentable. Aumento de vida útil de las estructuras de hormigón. optimización en emisiones de CO2	Prefabricados de estructuras de hormigón, Revestimiento in situ en proyectos de túneles, Colocación de hormigón en condiciones invernales.
			Se compone por una adición puzolánica estructurada por	mejora la homogeneidad y la densidad	materiales de Hormigón prefabricado.

Continuación Tabla 2.

Centrilit NC	MC	Aditivo	aluminosilicatos amorfo con bases en placas para elementos con base de cemento (hormigón, mortero, etc.). Se encuentra en el mercado de dos maneras, una como suspensión y otra en polvo fino, los cuales son mezclados dentro de la masa de hormigón. Se basa en nanopartículas de aluminio amorfo y depende del tamaño de la partícula rellena particularmente en las cavidades de la pasta de cemento durante la hidratación.	del hormigón. minimiza la migración de cloruros. aumenta la resistencia química. mejora la resistencia a la abrasión	Hormigones de altas prestaciones. Hormigones de más resistencia. Hormigones con más resistencia química. Tuberías de hormigón. Hormigón proyectado.
Centrilit Fume SX	MC	Aditivo	Es un producto el cual sirve como aditivo para el hormigón, está basado en partículas a escala nano las cuales son de 50 a 100 veces más pequeñas que las del hormigón, (0.1 nanómetro), dependiendo el tamaño de la partícula rellena las cavidades de la pasta del cemento. En el proceso de hidratación, este aditivo reacciona como la cal sin cemento al compuesto consistente y durable hidrosilicato de calcio. Este proceso origina un hormigón más denso y posteriormente aumenta la resistencia de este, con una buena densidad establece una excelente protección contra la corrosión.	Mejora considerable a la resistencia y la densidad del hormigón. Aumenta la ratio de la resistencia. Aumenta la resistencia química. Mejora la resistencia a la corrosión.	Materiales de hormigón prefabricado. Hormigones de más prestaciones. Hormigones de más resistencia. Hormigones con más resistencia química.

Continuación Tabla 2.

SurfaMix C	Nano Phos	Aditivo	Se utiliza como aditivo con estructura de agua en cualquier material con cemento. Estas partículas a escala nano regulan los procesos de hidratación y minimizan el encogimiento y la creación de grietas o capilares los cuales absorben el agua. Además, fomenta la adhesión y plasticidad en esta mezcla cuando se quiera aplicar.	Mejora (duplica) la adhesión. Fomenta el pegado. Incrementa la trabajabilidad. Repara la aparición de grietas.	Yeso y Estucos. Acabados exteriores e interiores en albañilería. Mortero/Base de cemento.
Nano Fluid PR	APLIK A	Aditivo	Es un producto que actúa como aditivo para el hormigón prefabricado y se compone de partículas a escala nanométrica de nano sílice y varios aditivos poliméricos, cuando se combinan producen una gran reducción de agua.	Aumenta el plastificante y reductor de agua. Aumenta de la resistencia mecánica inicial y final. Incrementa las características geológicas de la pasta de cemento. No produce aplazamientos anómalos de fraguado.	hormigón Prefabricado.
Nano sílice CROM CS-5	CROMCRET	Aditivo	El agregado en forma líquida para hormigones, se centra en una sílice coloidal inorgánica, sumamente reactiva, se fija en un medio acuoso. Se agrega en la masa del hormigón como ultimo de todos los agregados. Es particularmente	Hormigón de mejor homogeneidad. Aumenta la bombeabilidad. Incrementa resistencias.	Se sugiere en hormigones de más fluidez, hormigón bombeado, hormigón pretensado y hormigón proyectado

Continuación Tabla 2.

			compatible con reductores de agua de más rango centrados en poli carboxilato		
Aditivo NEHO	E – NANO NEHO S.L.	Aditivo	El agregado para cementos hidrófobos, aumenta la compactación y regulación de las características capilares de los hormigones. También, alcanza una disminución duradera de la succión de agua. El agregado se administra al agua del amasado del hormigón.	Agente hidrófobo. Protege contra la eflorescencia de la cal. Difusor de vapor. Aumento de resistencia a los álcalis. Resistente al hielo ya la descongelación. Aumento considerable de resistente ante la intemperie.	Hormigones normales y prefabricados. Morteros. Piedras y cerámica.

Fuente: (TSOTSIS GEORGIOS, 2018).

## **17. INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CONVENCIONALES DE OBRAS CIVILES CONVERTIDOS A NANOMATERIALES.**

### **17.1 CONCRETO (ECC) ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITE.**

Una aplicación de la nanotecnología en concreto es el concreto flexible y autorreparable elaborado por la universidad de Michigan por el profesor Víctor Li, desarrolla un agregado para concreto el cual se compone de una material el cual aumenta considerablemente la dureza frente a esfuerzos de tracción, mientras que en el concreto reforzado la dureza a la tracción recae en el acero reforzado, ya que el concreto no soporta de buena manera los esfuerzos a tracción, por otra parte el concreto (ECC) aprovecha partículas deshidratadas que quedaron dentro, y con el agua y el dióxido de carbono que está en el aire se crea carbonato de calcio que tapa las micro fisuras.

Se quiere con esta investigación que el concreto se comporte como un sistema vivo, la cual en el momento que si se localiza una fisura en el concreto se acelera el proceso de nano partículas que tiene el agregado y se cree carbonato de calcio suficiente como para reparar las grietas producidas por fuerzas externas, por ejemplo, cómo reacciona nuestro cuerpo al momento de tener una cortada. Gracias a las nano modificaciones realizadas al concreto se aumenta drásticamente su solides frente a la tracción, resistencia del material, maleabilidad y vida útil del material. Con estas ventajas se podrá producir un concreto de alta calidad eficiente con el medio ambiente, ya que minimiza la emisión de CO<sub>2</sub>, al momento que producen el cemento se espera que sea como mínimo el 30%. (Josefa Aguilar Franco, Mercedes Colorado Soriano, Virginia Gálvez Pérez. Diciembre 2017.)

## 17.2 ASFALTO.

Estudio realizado por Nancy Scottos de la universidad de Illinois en el Urbana-chaman. Cuando modifican las características del asfalto a un nivel nano molecular, este proceso se da mediante la dispersión de neutrón y otros procesos, La durabilidad ante cualquier condición de carga y condición ambiental. El polímero al actuar frente al betún cambia sus características tanto moleculares como químicas, ya que tiene una incidencia tanto en el oxígeno como en la temperatura. Dando como resultado la reducción del envejecimiento del asfalto (deterioro de oxido). También los elementos metálicos y orgánicos del material transformado van a reaccionar mediante las cetonas, las cuales producirán conexiones entre moléculas de asfalto.

Las nano modificaciones pueden tener la influencia para generar características de mejoramiento en el avance y la necesidad de innovar la realización de carreteras, con una infraestructura vial moderna y de calidad en el transporte. En los estudios realizados por la Dra Nancy Scottos, observaron que la nanotecnología aplicada al asfalto tiene varios beneficios como:

- **Fuerza compresiva:** Tiene la capacidad de tolerar cargas en una posición limite, estas se relacionan con el estado crítico.
- **Fuerza extensible:** Es la capacidad de aguantar cargas que generan deterioro en el asfalto o pavimentos.
- **Estabilidad:** Es la capacidad de aguantar cargas que están expuestas a una temperatura alta.
- **Fatiga:** Es la capacidad de tolerar las cargas afectantes. Es una propiedad de duración.

- **Adherencia:** Es la fuerza de fusión del asfalto frente a un tipo agregado (este puede ser, arena, grava, etc.) y la capacidad para tolerar la sustitución al agua.
- **Susceptibilidad de la temperatura:** Es la posibilidad de soportar cambios en la curva de fuerzas-temperaturas de la aleación de asfaltos.

### 17.3 CEMENTO.

Elaborado por Franz Josef en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), reducir lo mayor posible el CO<sub>2</sub> en la elaboración del cemento para reducir los gases de efecto invernadero. Cambiar el calcio por el magnesio. Este elemento ya se ha realizado en Australia, posee unas propiedades que ayudan al medio ambiente, ya que este está formado por elementos reciclados y cemento.

EL eco-cemento se seca, cuando está completamente fraguado este sigue succionando CO<sub>2</sub> de la intemperie, también la magnesita se transforma en carbonato. El desarrollo continúa funcionando en un periodo de un año, hasta que la magnesita porosa no se transforme más en CO<sub>2</sub>, se están desarrollado estudios de las mezclas entre nanoestructuras y ceniza volante en el cemento portland.



#### **17.4 ACERO.**

Gracias a la nanotecnología se ha logrado producir acero mucho más resistente al oxido, flexible en la manipulación, es decir, se convierte en un material muy fácil de tratar al momento de construir vías, puentes y edificios, ya que es más resistente que el acero convencional. Las características de los materiales encontrados actualmente en el mercado, se pueden modificar para así mejorar sus propiedades, esto ayudaría a tener un material de mejor calidad y se utilizara en menor cantidad en la elaboración de estructuras convencionales.

Actualmente los materiales están teniendo un impacto en la construcción de edificios más confiables, ya que se podrá reducir el riesgo a situaciones que no estén planeadas como los sismos o vientos muy fuertes. Se quiere elaborar un material el cual pueda resistir temperaturas hasta de 1000° F para resistir incendios.

#### **17.5 VIDRIO.**

El vidrio como nanomaterial ha sido un gran avance en los materiales autolimpiables, ya que lo ha implementado Pilkington. Este se utiliza como una superficie autolimpiable, gracias al dióxido de titanio convirtiéndolo en un material nano cristalino ( $\text{TiO}_2$ ) el cual se reposa en el vidrio.

El vidrio antirreflejo es una adaptación nanotecnológica que se ha venido estudiando ya que estos están formados por varias capas metálicas, además de poseer una refracción alta. La finalidad de esta tecnología en este material, es adicionar una capa de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), la funcionalidad de este es que el espesor de capa genera una conexión con la longitud de onda de la luz, la cual se refleja en la superficie por ello reduce en gran medida la reflectividad.

## **18. ANALISIS DE RESULTADOS.**

Observando y analizando los materiales que más se utilizan en obras civiles, y al compararlos con los materiales de construcción convencionales, se observa que los nanomateriales, aunque la mayoría se encuentran en etapa de estudio, ofrecen mejoras notables mecánicas y físicas tales como resistencia, fluidez, anticorrosión, dureza, entre otras. En comparación con los materiales de construcción, se observa también que los recubrimientos y aditivos nano que se le aplican a los materiales más usados en obras civiles como lo son el cemento y acero, ofrecen muchas mejoras a futuro. En el caso del cemento en la actualidad existen aditivos nano en el mercado haciendo que esta tecnología nos aporte mucho más a la hora de realizar construcciones.

Debido a que el tema de los nanomateriales es innovador pocos países tienen en el mercado algún nano aditivo o nanomaterial como lo es en el caso del cemento, logramos identificar que en España y algunos países de Europa, son comerciales varios tipos de nano aditivos para utilizarlos en componentes para hormigón, conociendo su mecanismo de acción, los beneficios que estos ofrecen y su uso en la construcción.

También se requieren más estudios para estas nuevas tecnologías ya que la información sobre estos es muy limitada por ende no hay un fundamento sólido para basar y para realizar un análisis profundo sobre la interacción entre nano aditivos y nano materiales.

Los recubrimientos nano son una buena forma de implementar en los materiales, ya que al implementarlos aumenta considerablemente las propiedades de los materiales, estos se pueden utilizar en recubrimientos para pisos, en pinturas las cuales su función será ser mucho más fácil a la hora de limpiar o auto limpiables, en el concreto actúa como un sellante el cual se auto regenera en el momento que

se generen grietas, en el acero aumenta la vida útil ya que minimiza la corrosión, el cual es el mayor problema de este material, debido a que la mayoría del tiempo es expuesto al ambiente (aire, lluvia, cambios de temperatura), como al momento de llevar a una obra, mientras se utiliza, y en el momento cuando esta se utiliza para diferentes funciones, como por ejemplo para hacer zapatas, columnas, armazón de losas, debido a que estará interna en el concreto, lo cual tendrá contacto con el agua.

## **19. ALCANCES Y LIMITACIONES.**

El proyecto que se está realizando, se espera que culmine en aproximadamente cuatro (4) meses durante el periodo 2021-1, se quiere presentar a la comunidad educativa la influencia que ofrecen los nanomateriales en obras civiles, buscando innovar a nivel de infraestructura de la manera más clara posible, se busca entregar una investigación detallada explicando y reconociendo sus ventajas para así cumplir con todos los objetivos planteados en este documento.

Teniendo en cuenta los inconvenientes que se tienen por la actual situación de contingencia (COVID-19), el desarrollo del proyecto se ve afectado, ya que no se pueden realizar ensayos de laboratorios. Por otra parte, no se puede asistir a empresas enfocadas a nanomateriales, en las cuales se podría tener información más precisa sobre la investigación, porque en la ciudad hay muy poca información sobre algún lugar, sin embargo, se tendrá en cuenta investigaciones realizadas para dar sustento a la propuesta de investigación.

## **20. RECOMENDACIONES.**

Se recomienda una buena inversión de recursos para el desarrollo de la nanotecnología, y así fortalecer investigaciones en este caso de los nanomateriales, además de crear grupos de investigación en universidades, ya que, según lo investigado, los países que realizaron una gran inversión en la tecnología en estos momentos son potencias mundiales. Por otra parte, Colombia quiere avanzar en la investigación y elaboración de la nanotecnología junto con todas las ramas que esta abarca, para así tener un futuro innovador y con ello una mejor calidad laboral y de vida.

Es recomendable estar al tanto de la definición de los nanomateriales y reconocer cuales son las ventajas de estos con respecto a los materiales convencionales, pero también se debe identificar qué consecuencias de protección ambiental, seguridad y salud nos traen algunos de estos nanomateriales ya que se modifica su composición, lo cual si se llevara a cabo la elaboración y distribución de estos nanomateriales, se debería tener información de seguridad toxicológica, la cual este soportada por estudios científicamente comprobados.

Reconocer la adaptación de la sociedad a la escala nano, nos permite comprender de la mejor manera el cambio que este nos quiere aportar, una vez se entienda el desempeño favorable y desfavorable de los nanomateriales en obras civiles. Gracias a las modificaciones mecánicas y físicas de algunos materiales sería posible crear nanomateriales a nuestro gusto, elaborándolos para una función específica.

## 21. CONCLUSIONES

- Se pueden empezar a crear posibilidades de investigación de esta tecnología, se podría decir que, a futuro se podrían patrocinar con recursos monetarios en pro de un avance tecnológico en el sector de la construcción enfocándonos en el manejo de los nanomateriales.
- El mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas que ofrecen los nanomateriales, como el aumento de rigidez y vida útil del material entre otras, pueden optimizar el tiempo de construcción de este y disminuir en gran forma los costos, beneficiando a distintas comunidades.
- El concreto y el acero ofrecen más propiedades mecánicas frente a otros nanomateriales, ya que estos presentan una inmunización ante el óxido, impermeabilidad, mejoramiento en la rigidez, resistencia a variaciones drásticas de temperatura y aumento de vida útil, haciendo que estos nanomateriales tengan una gran mejora frente a los materiales convencionales.
- Los nanomateriales nos ofrecen la opción de poder monitorear y predecir si la estructura tiene fallas o afectaciones por sismos u otros factores externos, haciendo más fácil la predicción de posibles fallas a futuro, y mejorando el tiempo para prevenir el empeoramiento de esta o el aumento de otras fallas.
- Para empezar con la implementación de esta tecnología, podemos usar aditivos para el concreto y asfalto, para comprobar su efectividad en rutas rurales y urbanas, además de observar el comportamiento de estas y así

ofrecer mejoras para futuros proyectos viales. Otra buena opción de implementación, es en la señalización vial ya que la señalización horizontal suele deteriorarse con facilidad, con los nanomateriales se mejoraría la visualización de estas disminuyendo la accidentalidad.

## 22. BIBLIOGRAFÍA

- (INSHT) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales*. Madrid. 2015.
- González Sánchez, Alejandro. *Nanomateriales Innovadores con Propiedades Superhidrofugantes: Estudio de su Eficacia y Durabilidad*. Cádiz, 2018, Universidad de Cádiz.
- Álvarez, Laureano Cornejo. *La revolución nanotecnológica en los nuevos materiales un reto tecnológico para el siglo XXI*. Andalucía, 2015, pág. 35-43. Universidad de Jaén.
- Angelomé, Paula C. *Films delgados mesoporosos de*. Buenos Aires, 2015 Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Cardona, Laura María Echeverry. Energías de dispersión y surfactantes en una solución de nanotubos. Bogotá, 2020, Universidad Nacional de Colombia.
- Chemicalsafetyfacts, Nanotecnología [En línea],2020. Disponible en <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/nanotecnologia/#safety-information>.
- Copyright. *nanotech-col.blogspot*. [En línea] 2011. <http://nanotech-col.blogspot.com/p/nanotecnologia-en-colombia.html>.
- Dávila, Mario. Da Costa, Daniela. Duarte, David. 2016. Efecto de la adición de nano sílice en cementos y concretos. Cúcuta, universidad simón bolívar.
- E. Sánchez, J. Bernal, N. León, A. Moragues. Rheological and mechanical properties of self-compacting concrete with the addition of. Merida, Universidad Politécnica de Madrid; España, 2016, Universidad Autónoma de Sinaloa. México.
- Elsevier Ltd. The Future of Civil Engineering with the Influence and Impact of Nanotechnology on Properties of Materials. 2015.
- Firoozi, Ali. 2015. Nanotechnology in Civil Engineering. s.l. : Electronic Journal of Geotechnical Engineering.
- Alberto Reyes Fredy L, Sequera Iván, Pinzón Didier, Rengel Andrea. Prefeasibility Study for a Continuous-Production CarbonNanotube Plant in Bogotá and Suburban Áreas. Bogotá. Revista Ingeniería De Obras Civiles. 2017.



- Fundación estatal para prevención de riesgos laborales f.p.s. Prevención de riesgos laborales frente a la exposición de nanopartículas en el sector de la construcción. Madrid. 2019.
- González Juan Fernando. NANOTECNOLOGÍA Y CONCRETO. 2016.
- Hamed Nabizadeh Rafsanjani, Mehdi Kadivar. Application of Nanotechnology in Civil Engineering. s.l.: Jingying Zhao, 2011.
- Molina-Prieto Luis Fernando, Garzón Castellanos María Fernanda. Propiedades de concretos y morteros: estado del arte. Bogotá, 2017: Universidad de América.
- Mantilla, Iván Darío. Potencial de uso de la nanotecnología en la infraestructura vial de Colombia. Bogotá D.C: Universidad los Andes, 2012.
- Marín, D. Jesús Alcaraz. Microestructura del hormigón con adición de nano sílice. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2015.
- Náder, Esteban Dávila. 20 de enero de 2017. Una casa colombiana hecha con nanotecnología. El Espectador.
- NANOTECNOLOGO. NANOTECNOLOGO. [En línea] MARZO de 2019. Disponible en: <https://nanotecnologo.com/que-es-la-nanotecnologia/>.
- Pat., Francisco.2012. [revitalizatemexico.wordpress.com/2012/04/09/la-nanotecnologia-en-la-ingenieria-civil/](https://revitalizatemexico.wordpress.com/2012/04/09/la-nanotecnologia-en-la-ingenieria-civil/). [En línea] 9 de abril de 2012. Disponible en: <https://revitalizatemexico.wordpress.com/2012/04/09/la-nanotecnologia-en-la-ingenieria-civil/>.
- Proyecto NANO-SME. Aplicaciones industriales de la Nanotecnología. s.l.: Fundación ITM, 2007.
- Redaccion Arcus Global. arcus-global. [En línea], 2020, Disponible en: <https://www.arcus-global.com/wp/nanotecnologia-en-la-construccion/>.
- Rodríguez-López, José Luis. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. Mexico, 2017: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Santillán, Sofía. mundoconstructor. mundoconstructor. [En línea] 2020. Disponible en: <https://www.mundoconstructor.com.ec/aplicaciones-de-la-nanotecnologia-a-la-industria-de-la-construccion/>.
- Velázquez, Viviana Jehová González. Nanomateriales de Carbono, síntesis, Leganés, 2015: s.n.
- rosas, ivan dario. potencial de uso de la nanotecnologia en la infraestructura vial en colombia. bogota, 2012 : universidad de los andes.

- Lopez, Diego Alonso. La nanotecnología en la infraestructura civil estado del conocimiento y prospectiva. Bogotá, 2014 : universidad piloto de colombia.
- Iberdrola. Iberdrola. 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/aplicaciones-nanotecnologia>.
- In FIORP, Nanotecnología. ORP FUNDACION INTERNACIONAL. ORP FUNDACION INTERNACIONAL. [En línea] 25 de Febrero de 2019. Disponible en: <https://fiorp.org/los-nanomateriales-en-el-sector-de-la-construccion/>.
- HONRUBIA, MARIO. ENNOMOTIVE. ENNOMOTIVE. [En línea] INNOVATION, 25 de Febrero de 2019. Disponible en: <https://www.ennomotive.com/es/nanomateriales-historia-aplicaciones>.
- Aguilar Franco Josefa, Colorado Soriano Mercedes, Gálvez Pérez Virginia. Diciembre. Exposición potencial a nanomateriales en el sector de la construcción. Madrid, 2017 : nstituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT), O.A., M.P., 73 - 28027.
- CORNEJO, LAUREANO. NAOCIENCIA Y NANOTECNOLOGIA. Madrid, . 16/06/2015 : Nanotecnología.
- ¡MC-FastKick!: el nuevo acelerante de MC. MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, [2018] [presentación técnica de producto].
- MC-FastKick 111: hardening accelerating admixture. Bottrop, Germany: MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, 2017. [hoja técnica de producto]. Disponible en: [https://www.mcbauchemie.com/assets/downloads/products/en/technical\\_datasheet/MCFastKick%20111.pdf](https://www.mcbauchemie.com/assets/downloads/products/en/technical_datasheet/MCFastKick%20111.pdf).
- Borralleras Mas, P. Master X-Seed: cement hydration activator based on suspended CSH particles for acceletated development of concrete early strength. Barcelona, 2009: BASF Construction Chemicals España S.L. [documento técnico].
- Master X-Seed: acelerador de endurecimiento del hormigón. Barcelona: BASF Construction Chemicals España S.L. [Consulta: 1 junio 2018]. Disponible en: <https://www.master-builders-solutions.basf.es/es-es/productos/master-x-seed> Aplicaciones de la Nanotecnología en los Materiales de la Construcción - Georgios Tsotsis 72.
- Centrlit NC: aditivo para hormigón basado en silicato de aluminio puzolánico. Valencia: MC Construction Chemicals Spain, 2011 [hoja técnica de producto]. Disponible en: <http://www.mc-bauchemie.es/~media/Files/MC-Bauchemie/Products/es-ES/Technical Datasheet/Centrilit NC Suspension.pdf>.

- Centrilit Fume SX: sílice en suspensión. Valencia: MC Construction Chemicals Spain, 2011 [hoja técnica de producto]. Disponible en: <http://www.mc-bauchemie.es/~media/Files/MCBauchemie/Products/es-ES/Technical%20Datasheet/Centrilit%20Fume%20SX.pdf>.
- MasterRoc MS 685: suspensión de nanosílice precipitada. España, Barcelona, 2017: BASF Construction Chemicals ,ed. [hoja técnica de producto].
- SurfaMix® C: aditivo para aumentar la adhesión, elasticidad, y trabajabilidad de morteros de cemento y de yeso. Nanotecnología que mejora la resistencia al agua. Mataró: Nanoavant, s.a. [ficha de producto] Disponible en: <https://www.nanoavant.es/app/download/22203803/SurfaMix+C+-+Ficha+de+Producto.pdf>.
- Nano Fluid PR. Colombia: APLIKA, 2012 [Ficha técnica]. Disponible en: [https://aplika.webnode.es/productos/aditivospara-concreto/nano-fluid-pr/\[26\]](https://aplika.webnode.es/productos/aditivospara-concreto/nano-fluid-pr/[26]).
- Nano sílice CROM CS-5: aditivo nano sílice. Chile: Croncret, octubre 2010. [hoja técnica de producto].
- “Productos E-NANO y aditivos NEHO” [En Línea] En: Nanotecnología E-NANO NEHO, S.L. [en línea] [Consulta 1 junio 2018]. Disponible en: <http://e-nanoneho.com/productos>
- Tsotsis, Georgios. Aplicaciones de la nanotecnología en los materiales de la construcción. Barcelona, 2018 : Universidad Politécnica de Catalunya.
- Weiss/Mandredi. Centro de Nanotecnología Krishna P. [En Línea]. 2013. Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/02-300820/centro-de-nanotecnologia-krishna-p-singh-weiss-manfredi/524f2cd8e8e44ecb17000520-krishna-p-singh-center-for-nanotechnology-weiss-manfredi-photo>
- BASF Mexicana. Taller Caterpillar [En Línea]. 02 de mayo 2016. Disponible en: <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/23-especial/604-taller-caterpillar>.
- Reyna, Franzely. Centro Cultural Toma de Zacatecas [En Línea]. 20 de marzo 2020. Disponible en: <http://ntrzacatecas.com/temas/centro-cultural-toma-de-zacatecas/>



---

Firma Estudiante 1  
Nombre Estudiante 1:  
Oscar Andrey Villamil Rojas  
Medina Código: 507502



---

Firma Estudiante 2  
Nombre Estudiante 2:  
John Alexander Bermúdez  
Código: 505011

---

Firma Asesor del Trabajo de Grado  
Nombre: Abraham Ruiz Vásquez